

視覚情報のみを用いた衝突回避システムの提案と複数移動 体への応用

著者	山口 慧
出版者	法政大学大学院理工学・工学研究科
雑誌名	法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編
巻	58
発行年	2017-03-31
URL	http://hdl.handle.net/10114/13555

視覚情報のみを用いた衝突回避システムの提案と複数移動体への応用

THE PROPOSAL OF THE COLLISION AVOIDANCE SYSTEM USING ONLY VISUAL INFORMATION AND APPLICATION TO MULTIPLE OBJECTS

山口 慧

Kei YAMAGUCHI

指導教員 伊藤一之

法政大学大学院理工学研究科電気電子工学専攻修士課程

In recently year, Autonomous control of vehicles has attracted considerable attention. Especially, the collision avoidance system of vehicle has become an important topic in this field of research around the world. But, in conventional studies, the controlled vehicle must calculate the movement of other surrounding vehicles in order to avoid the collision, requiring huge computational costs. In this paper, I notice animal behavior in order to applicate the collision avoidance to multiple objects. They reduce computational costs of their brain by utilize the properties of their environment, basing their intelligent behaviors on simple strategies. I focus on these strategies, such as the tau-margin and binocular parallax.

In this paper, I propose the collision avoidance system using only visual information and present simulation results that were conducted in order to demonstrate the effectiveness of this method. It is important to note that proposed collision avoidance system are realized using only visual information without high accuracy sencor and high spec computer.

Key Words : *tau-margin, collision avoidance, visual information, binocular parallax*

1. はじめに

近年、ロボット工学は様々な分野で発展しており、中でも、複数の移動体に対して衝突回避を行うロボットが注目を集めている。しかし、衝突回避において精密な距離センサの処理や計算の複雑さなどが問題となり、また移動体の個数が増えれば増えるほど計算量が多くなるという問題がある。

そこで、私は比較的小さい脳や神経しか持たないにも関わらず獲物追跡や群行動といった複雑な行動を行っている昆虫などの下等生物に注目した。

人間をはじめほとんどの二つの目を持つ生物は両眼視差によって物体までの距離を知覚している。そこで、私はこの両眼視差を用いることにより、移動体までの制御移動体に対する相対位置を算出し、そこから未来の相対的な移動軌跡を求めることによって衝突回避を行うことができると考えた。

また、生態心理学の分野において、人間の間隙通過行動についての研究がいくつかされてきた。その中の一つとして Warren の間隙通過実験がある[1]。この論文では、

間隙が通過する人の肩幅の 1.3 倍以上の場合において、人が間隙を通過可能だと判断していることが分かっている。

この Warren の研究から、制御移動体の横幅の 1.3 倍未満の位置に他の移動体が来ないように制御移動体の運動を制御することによって衝突回避が可能であると考えた。

しかし、全ての移動体に対して未来の相対移動軌跡を計算してしまうと、移動体の個数が増えるにつれて計算量が莫大になるという問題点がある。

そこで、多くの動物が物体との衝突までの残り時間を知覚するために利用している物体の見かけの大きさおよびその変化率から求められる τ マージンに着目した。

最も衝突までの時間が少ない個体を特定するためにこの τ マージンを用いた。

本研究では、複数の移動体に対して、視覚情報のみを利用し衝突回避を行いながら目的地へ向かうシステムの提案を行い、シミュレーションによってその有用性を示した。

2. 両眼視差による奥行知覚

まず、両眼視差を用いることによって、任意の移動障害物の制御移動体に対する相対位置を求める方法を示す。図1のように制御移動体の先頭に平行にカメラを2台取り付ける。尚、焦点距離(f)、カメラ間の距離(D)は既知の値とする。また、図1中の赤の四角は移動障害物を表しており、 X_l および X_r は左右のカメラのスクリーンに映る移動障害物の像の位置である。また、制御移動体から移動障害物への奥行(カメラ方向)を L 、制御移動体から移動障害物への奥行(カメラ方向に対して垂直方向)を a とする。次に視覚情報のみから移動障害物の制御移動体に対する相対位置(L, a)を求める。

まず、三角形の比の関係より、次の2式が成り立つ。

$$\begin{cases} a \times f = L \times X_l \\ (a + D) \times f = L \times X_r \end{cases} \quad (1)$$

ここで、(1)式の上の式を下の式で割ると、

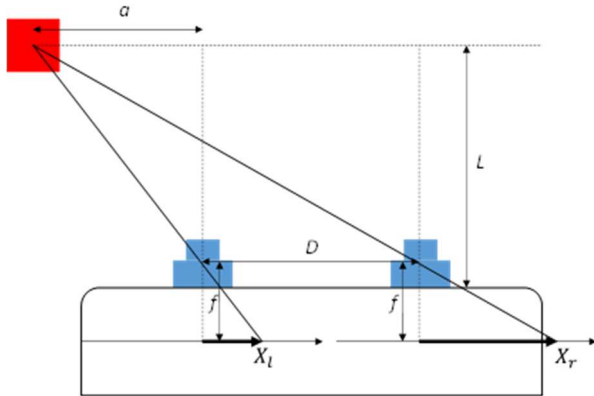


図1 両眼視差による奥行および間隙知覚

$$\frac{a+D}{a} = \frac{X_r}{X_l} \quad (2)$$

これを a について整理すると、

$$a = \frac{X_l \times D}{X_r - X_l} \quad (3)$$

このように、視覚情報(カメラのスクリーンに映る像の位置)および既知の情報(カメラ間の距離 D)によって a を求めることができる。

また、(3)式を(1)式の上の式に代入し整理すると、

$$L = \frac{f \times a}{X_l} = \frac{f}{X_l} \cdot \frac{X_l \times D}{X_r - X_l} \quad (4)$$

このように、 L および a を視覚情報および既知の値から求めることができる。

これより、視覚情報のみによって、移動障害物の相対位置を求めることができた。

制御移動体の前後方向についての車体の長さを b とすると、制御移動体の中心を原点とした相対座標系において

任意の移動障害物の位置(x_i, y_i)は図2より、 $(a + \frac{D}{2}, L + \frac{b}{2})$ で表すことができる。

また、両眼視差によって相対位置が分かることにより、相対速度を求めることも可能である。

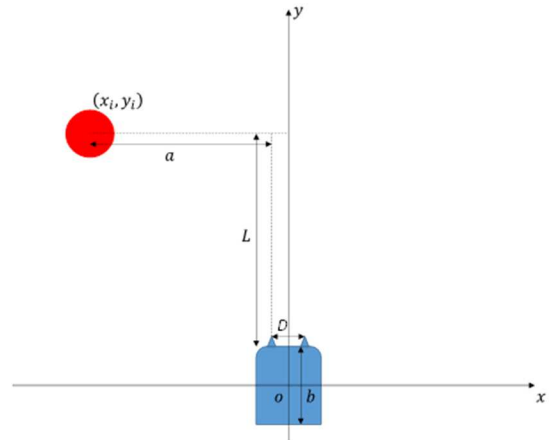


図2 制御移動体の中心を原点とする相対座標系

3. Warren の間隙通過実験

Warren & Whang は何を判断材料にして人が間隙通過が可能かどうかを判断するについて研究を行った[1]。

Warren & Whang は計10人の被験者に、2枚の板を立てることによって間隙をつくり、様々な長さの間隙を通過させた。

この実験から、被験者が肩を回転させずに通過できる間隙の長さとの関係性について次のようなことが証明された。通過する人の肩幅を S [m]、肩を回転させずに通過できる間隙の長さの最小値を A [m] とすると、

$$\frac{A}{S} > 1.3 \quad (5)$$

が成り立つことが証明された。

すなわち、制御移動体が図3の y 軸方向へ進む場合、赤い斜線部分に他の移動体がいなかったり来なければ衝突の危険が無いと考えられる。

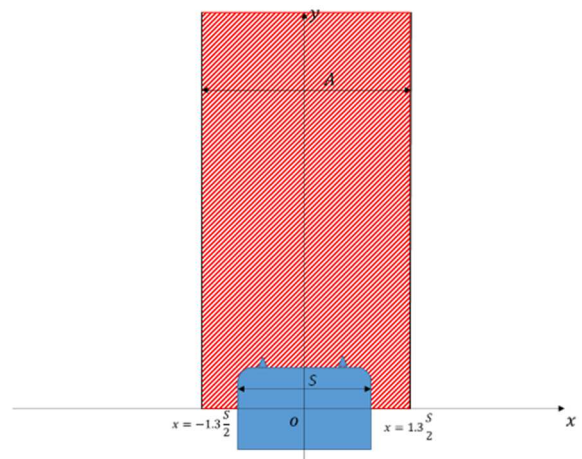


図3 両眼視差による奥行および間隙知覚

そこで、私は常に制御移動体の縦幅および横幅の 1.3 倍の範囲内に他の移動体が来ないように移動を行えば衝突回避ができると考えた。

4. τ マージン

生態心理学において、多くの生物は、実際の物体の大きさや距離などを知ることなく物体の視界に映る大きさおよびその変化率によって物体との衝突までの残り時間を知覚していると考えられている[2]。

図 4 に物体と観察者との関係を示す。

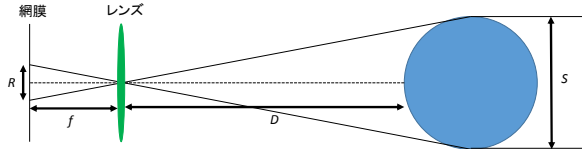


図 4 τ マージン

なお、図 4 において対象となる物体の直径を S 、レンズから対象物までの距離を D 、焦点距離を f とする。このとき、網膜像の見かけの大きさは、

$$R = \frac{fS}{D} \quad (6)$$

さらに、(6)式を時間微分し、

$$\dot{R} = -\frac{fS}{D^2} \dot{D} \quad (7)$$

これらの (6) (7) 式より、

$$\frac{R}{\dot{R}} = -\frac{fS}{fS\dot{D}} = -\frac{D}{\dot{D}} = \tau \quad (8)$$

(8)式より、衝突までの残り時間を表す τ は視覚情報のみで知覚することができる。

5. モデル化

今回のシミュレーションにおいて、移動体の動きは以下の (9) (10) 式の運動方程式でモデル化する。

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + C_1 \frac{dx}{dt} = F_x \quad (9)$$

$$m \frac{d^2y}{dt^2} + C_1 \frac{dy}{dt} = F_y \quad (10)$$

また、絶対座標系 xy および制御移動体を原点とした相対座標系 XY を以下の図 5 に示す。

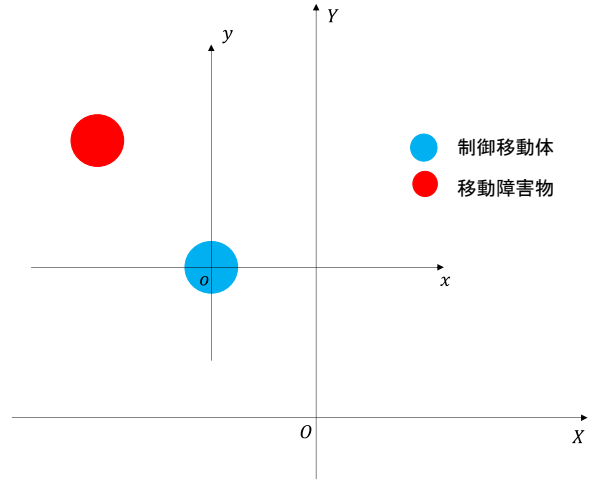


図 5 絶対座標系および相対座標系

尚、今回のシミュレーションでは、制御移動体以外の各移動体(以下、制御移動体と区別するために移動障害物と呼ぶ)は等速直線運動を行い、制御移動体が移動障害物に衝突することなく目的地である対岸へたどり着くことを目指す。また、制御移動体および移動障害物は円型である。

6. 提案手法

図 6 のフローチャートのような流れで制御移動体は衝突回避を行う。

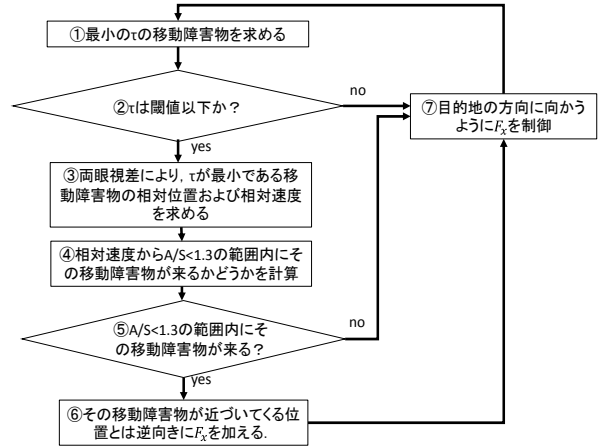


図 6 提案制御則のフローチャート

以下に図 6 のフローチャート上の各ステップについて解説する。尚、常に F_y は一定である。

①複数ある移動障害物の中から、最も衝突するまでの残り時間が短い移動障害物(最も優先的に衝突回避を行いたい移動障害物)を調べる。

② τ の閾値とは制御移動体が衝突回避行動を行い始める τ の値である。

③相対速度は、「2. 両眼視差による奥行知覚」の項で求めた相対位置を時間微分することによって求める。

④⑤相対速度から $A/S < 1.3$ の範囲に移動障害物がくる

かどうかの判断は以下のようにして行う．③で述べたように両眼視差によって相対位置から相対速度を求めるのだが，この時移動障害物の右端，中心，左端の相対速度を求める(図7参照)．

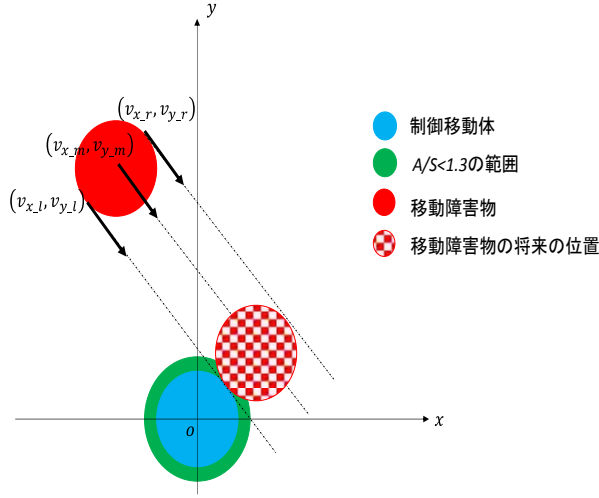


図7 移動障害物の相対座標系上の移動軌跡の求め方

図7のように移動障害物の右端，中心，左端の相対速度を求め，そのままの相対速度で相対座標系 xy 上を移動した場合に， $A/S < 1.3$ の範囲に移動障害物がくるかどうかを計算によって求める．

⑥次に移動障害物が $A/S < 1.3$ の範囲に来る場合の制御則について説明する．まず，移動障害物の右端，中心，左端が最も相対座標系の原点との距離が短くなる時の距離(d_r, d_m, d_l とし，この中で一番小さいものを d_s とする)を求める．また，移動障害物の右端，中心，左端のうち d の値が最も小さくなった点の相対座標系 xy の x 軸に来る時の y の値(y_k)および y 軸に来る時の x の値(x_k)を求める．さらに，その時の移動障害物の d の値が最も小さくなった点の相対座標系 xy での位置座標は (x', y') とする．尚，これらは視覚情報によって得られた値のみで計算を行って求めている．また，制御則中の r は制御移動体の半径で， k_p はゲインである．

以下の(11)-(16)までが衝突回避の制御式である．

尚，制御移動体の中心(相対座標系 xy の原点)を移動障害物が通らない場合はこのままの制御則，制御移動体の中心(相対座標系 xy の原点)を移動障害物が通る場合は制御式中の x_k および y_k の値に0を代入する．

a) $-1.3r < y_k < 0$ の時

$$F_x = -k_p(-1.3r - y_k) \quad (11)$$

b) $1.3r > y_k > 0$ の時

$$F_x = -k_p(1.3r - y_k) \quad (12)$$

c) $(y_k = 0) \cap (x' < 0)$ の時

$$F_x = -k_p(-1.3r - y_k) \quad (13)$$

d) $(y_k = 0) \cap (x' \geq 0)$ の時

$$F_x = -k_p(1.3r - y_k) \quad (14)$$

e) $((-1.3r > y_k) \cup (1.3r < y_k)) \cap (x' < 0)$ の時

$$F_x = -k_p(1.3r - x_k) \quad (15)$$

f) $((-1.3r > y_k) \cup (1.3r < y_k)) \cap (x' > 0)$ の時

$$F_x = k_p(1.3r - x_k) \quad (16)$$

7. シミュレーション

シミュレーション結果について一定時間ごとに制御移動体および移動障害物の位置関係をコマ撮りにしたものを図8に示す．

尚，青が制御移動体，赤が目標地点，黄色が移動障害物をそれぞれ表している．

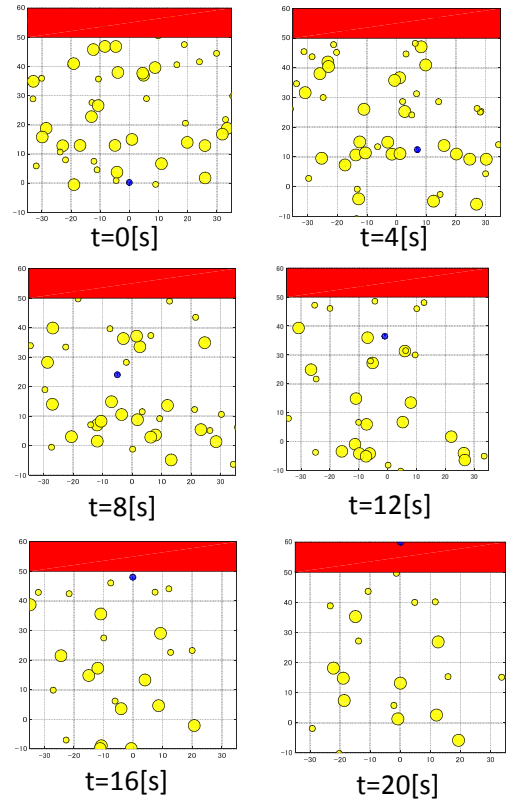


図8 シミュレーション結果

図8に示すように，提案制御則を用いて，移動障害物を回避しながら目的地へ到達することができた．

8. 考察

上記のシミュレーションの結果から衝突を回避しながら目的地である対岸まで到達することができた。

しかし、移動障害物の個体数や速度を増加させたり、移動障害物の大きさを大きくしたりして、シミュレーションを行うと、制御移動体が左右に振動したり、衝突前に回避が間に合わないことがあった。主な原因として、衝突回避の制御を完了するまでの時間が充分ないということが考えられる。また、左右に振動する原因としては、制御移動体から見て左右の近いところに τ が極端に短い移動障害物がある状態になった場合などに発生すると考えられる。

9. 結論

本論文では、視覚情報から τ および移動障害物の未来の軌跡を予想し、移動障害物を回避する制御則を提案し、シミュレーションによって有用性を示した。

この制御則を用いて GPS などの複雑な計算を行うコンピュータなどを用いることなく視覚情報のみで比較的簡単な方法で制御を行うことができた。

しかし、移動障害物の密度や速度、大きさなどを増加させると提案制御則がうまく機能しないことがあった。このように今後の課題としては移動障害物の密度や速度、大きさなどに依存せず衝突回避を行えるように改良の余地があると考えられる。

謝辞：本研究において様々なご指導およびご協力をいただいた知能ロボット研究室の伊藤一之教授、伊藤研究室の同輩や後輩にとっても感謝いたします。

参考文献

- 1) Warren Jr, William H., and Suzanne Whang. "Visual guidance of walking through apertures: body-scaled information for affordances." Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, year. 1987, Vol. 13, No.3, pp. 371 – 383
- 2) Lee, D. N. (1985), Visual timing of interceptive action. Brain Mechanisms and Spatial Vision:137-139